Herrn Geh. Med. Rath Prof. Dr. Schroeder … in grösster Hochachtung v. U.

10

Ueber das Abhängigkeitsverhältniss der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.

Von

Dr. W. Uhthoff,

Docent und Assistent der Prof. Schoeler'schen Augenklinik in Berlin.

Hierzu Tafel IV.

Die Wichtigkeit des in der Ueberschrift bezeichneten Gegenstandes für das praktische Leben und hier besonders für das Gebiet der Schulhygiene liegt klar zu Tage. Aber auch vom rein wissenschaftlichen und physiologischen Standpunkte aus hat es ein hohes Interesse, das Abhängigkeitsverhältniss einer Function unseres Sehorgans, die Sehschärfe, von der Beleuchtungsintensität des Objectes genau zu ergründen, zumal im Hinblick auf die Bedeutung dieser Frage für unsere photometrischen Bestimmungen und Lichtsinnmessungen. Ich habe die einschlägigen Untersuchungen auf Rath und mit der stets bereiten und liebenswürdigen Unterstützung des Herrn Doc. Dr. Koenig, Assistent am Berliner physik. Institut (Herr Geh. Med.-Rath Prof. v. Helmholtz) angestellt.

Wie bei der Bedeutung dieser Frage in wissenschaftlicher und praktischer Hinsicht nicht anders zu erwarten,

liegt schon ein umfangreiches und wichtiges Material über diesen Gegenstand in der Literatur vor.

Angaben und Hinweise darauf, wie man sich die erfahrungsgemässe Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität zu Nutzen machen könne, um gewisse absolute Helligkeitsbestimmungen (photometrische Messungen im weitesten Sinne) vorzunehmen, finden sich zahlreich auch schon in der älteren Literatur. So weist Klein z. B. in seiner Arbeit nach, dass schon im Talmud verschiedene Regeln gegeben sind, den Anbruch des Tages zu bestimmen unter Zuhilfenahme der Erfahrung des alltäglichen Lebens, dass es erst bei einer gewissen absoluten Helligkeit möglich wird, gewisse Farben-Unterschiede oder Raumwahrnehmungen zu machen. Wie Aubert citirt, war es eine alte Verordnung in der preussischen Armee, die Reveille zu blasen, sobald Druckschrift in der Morgendämmerung erkannt werden konnte. Eine andere alte Lebensregel räth, den Anbruch des Tages dann anzunehmen, wenn man im Stande sei, einen Wolf von einem Hunde zu unterscheiden, oder wenn es möglich sei, seinen Freund aus relativ geringer Entfernung zu erkennen.

Dem Göttinger Astronomen Tobias Mayer*), und darin stimmen alle Autoren überein, gebührt unzweifelhaft das Verdienst, mit wissenschaftlichen und physikalisch correcten Methoden zuerst die nähere Ergründung dieser Frage (Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität) unternommen zu haben. Dieser Forscher wies nach, wie bei Anwendung bestimmter Liniensysteme als Probeobject die Annäherung des Beobachters oder der Gesichtswinkel um so grösser werden muss, je schwächer die Beleuchtung des Objectes wird. Er stellte fest, dass bei heller Tagesbeleuchtung sich auch schon die höchste Sehschärfe ergebe, und dass eine noch weitere Steigerung der Beleuchtungsintensität nicht im Stande sei, die Sehschärfe noch wachsen zu lassen. Des weiteren stellte er Versuche bei geringeren Beleuchtungsintensitäten an, indem er die Liniensysteme im dunklen Raum zunächst mit einer Kerze aus ½ Fuss Entfernung beleuchtete und letztere sodann allmählich bis zu 13′ entfernte. Es variirte

*) „Experimenta circa visus aciem" in Commentarii Societates, Goettingensis, 1754, p. 97.

also auf diese Weise die Beleuchtungsintensität des Probeobjects im Verhältniss von 1 : 676. Bei den verschiedenen Stellungen der Kerze nun mass er den Abstand, aus welchem es ihm gerade noch möglich war, die Liniensysteme zu erkennen und stellte so den jedesmaligen Gesichtswinkel und die Sehschärfe fest. Seine Untersuchungen führten ihn zu der empirischen Formel $s = 158'' \sqrt[3]{a}$, wo s den Gesichtswinkel und a den Abstand der Kerze bezeichnet. Oder da die Beleuchtungsintensität $h = \frac{1}{a^2}$ ist, so folgt daraus die Formel $s = \frac{158''}{\sqrt[6]{h}}$, wonach also die Gesichtswinkel sich umgekehrt verhalten, wie die 6. Wurzeln aus den Lichtintensitäten. Seit diesen Untersuchungen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts ruhte die Bearbeitung dieses Gegenstandes wieder lange Zeit völlig, bis erst in den 50er Jahren unseres Jahrhunderts Förster und Aubert weitere hochwichtige Beiträge zu dem Abhängigkeitsverhältniss der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität lieferten.

Förster*) hat einschlägige Untersuchungen angestellt mit seinem Photometer und kommt zu folgendem Satz: „Gesichtswinkel und Helligkeit sind gleichsam die beiden Factoren, aus denen die Schärfe der Eindrücke, welche wir durch unser Auge empfangen, resultirt, je kleiner der eine ist, um so grösser muss der andere sein, wenn noch eine Wahrnehmung zu Stande kommen soll, sie ergänzen sich gegenseitig." Förster stellte dann vor Allem die untere Grenze der Helligkeit sowohl bei gesunden als bei hemeralopischen Augen fest, bei welcher Objecte von bestimmter Grösse und bestimmtem Gesichtswinkel noch erkannt wurden.

Aubert**), dem wir besonders auf dem Gebiete der Physiologie der Netzhaut, die werthvollsten Beiträge verdanken, hat auch unser specielles Thema betreffende umfangreiche Untersuchungen angestellt. Er beleuchtete im Dunkelzimmer durch ein verstellbares Diaphragma am Fenster Jaeger'sche Schriftproben in 1 M. Entfernung und beobachtete nun, wie bei zunehmender Beleuchtungsintensität (Vergrösserung des

---

*) „Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiet der Ophthalmologie". Breslau 1857.

**) „Physiologie der Netzhaut", 1864.

Diaphragmas) die Sehschärfe wuchs. Als Beobachter stand Aubert dicht neben dem Diaphragma mit seinen Augen gleichfalls 1 M. von den Schriftproben entfernt. Bei einer Diaphragmaöffnung von 2,5 Mm. sah er noch keinen Buchstaben bei einer Oeffnung von 5 Mm. Jaeger 20 mühsam (Anfang der Versuchsreihe) und so weiter, bis er schliesslich bei einer Diaphragmaöffnung von 200 Mm. noch Jaeger 9 gut erkannte (Ende der Reihe). Diese Versuche mehrmals wiederholt, ergeben ganz analoge Resultate. Bei hellem diffusen Tageslicht ohne Diaphragma konnte noch Jaeger 5 gut erkannt werden. Aubert hebt schon besonders hervor, wie präcis sich derartige Versuche durchführen lassen und wie verhältnissmässig kleine Unterschiede in der Beleuchtungsintensität schon deutliche Differenzen in der Sehschärfe im Gefolge haben. Aubert stellt ferner Versuche darüber an, wie bei gleichbleibendem Contrast zwischen Object und Grund und bei gleicher absoluter Helligkeit das Unterscheidungsvermögen abnimmt mit der Verkleinerung des Gesichtswinkels, indem er sich als Beobachter von einer rotirenden Masson'schen Scheibe entfernt. Er kommt auf Grundlage seiner Untersuchungen zu folgendem Schlusssatze: „Die Sichtbarkeit eines Objectes d. h. die Wahrnehmbarkeit eines Lichteindruckes ist abhängig: 1) von der absoluten Helligkeit, 2) von dem Helligkeitsunterschiede oder dem Contrast, 3) von dem Gesichtswinkel oder der Grösse des Netzhautbildes." Aubert findet ebenfalls, dass eine immer weitergehende Steigerung der Beleuchtungsintensität schliesslich nicht mehr im Stande ist, die Sehschärfe zu vermehren.

Snellen*) betont ferner das Abhängigkeitsverhältniss der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.

Im Jahre 1873 erschien sodann eine sehr bemerkenswerthe Monographie von Dr. N. Th. Klein**), welcher unser Thema von den verschiedensten Gesichtspunkten aus in sehr eingehender Weise bearbeitete. Klein untersucht das Abhängigkeitsverhältniss der Sehschärfe von der Beleuchtung nicht nur für das normale Auge, sondern auch bei den Refractionsanomalien (Myopie, Astigmatismus und Amblyopie bei Strabismus). Als Einheit der Beleuchtungsintensität legt er die

---

*) „Probebuchstaben und Bestimmung der Sehschärfe", 1873.

**) „Sur l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle". (G. Masson éditeur, Paris 1873).

englische Paraffinkerze (6 auf das Pfund) in 1 Meter Entfernung vom Object zu Grunde. Die angewendeten Beleuchtungsintensitäten variiren ad maximum von 0,4 bis 10,000, gewöhnlich aber in noch engern Grenzen. Klein hat seine Resultate in einer grossen Anzahl von Curven in sehr übersichtlicher Weise niedergelegt und harmoniren seine Resultate zum grossen Theil sehr gut mit den unserigen, wie sich später zeigen wird. Klein kommt aber, abweichend von anderen Autoren (Mayer, Aubert u. A.) zu dem Resultat, dass, so lange er im Stande war die Beleuchtungsintensität zu steigern (z. B. bei elektrischer Beleuchtung) auch die Sehschärfe immer mehr wächst, freilich zuletzt nur in geringem Grade. Er benutzte in erster Linie die Probebuchstaben von Snellen, Giraud Teulon und Boettcher.

Im Jahre 1872/73 wurde von der Innsbrucker medicinischen Facultät folgende Preisaufgabe gestellt: „Es sind Beobachtungsreihen über das Verhältniss zwischen Beleuchtung und Sehschärfe anzustellen, und es ist, wenn möglich, ein mathematisches Gesetz zu bilden, durch welches die Beziehung der Sehschärfe zur Beleuchtung ausgedrückt werden könnte."

Diese Aufgabe fand ihren Bearbeiter in dem stud. phil. A. Posch*). P. benutzte als Probeobjecte Systeme von weissen, durch gleich breite schwarze Zwischenräume getrennten, parallelen Linien, mit denen kreisförmige Scheiben von 50 Mm. Durchmesser ausgefüllt wurden. Dieselben wurden auf schwarzen Sammetunterlagen befestigt und der Untersuchte musste nun den Verlauf der Striche angeben. Als Lichtquelle benutzte Posch*) eine Lampe, welche in eine Laterna magica (Dubosq'sche Lampe mit achromatischem Linsenprojectionssystem) gestellt wurde, der austretende, stark divergirende Lichtkegel wurde an der gegenüberliegenden Wand durch einen dunklen Schirm aufgefangen und in der Richtung der austretenden Strahlen wurden die Probeobjecte in verschiedenen Entfernungen angebracht. Die Entfernung wurde mit Cm.-Bandmaass gemessen, die sämmtlichen Objecte lagen ziemlich nahe der Axe des Lichtkegels, so dass daraus kein Fehler resultirte. Posch hat seine Beobachtungsresultate in fünf

---

*) Ueber Sehschärfe und Beleuchtung" (Arch. für Augen- und Ohrenheilkunde, Bd. V, p. 14—49, 1876).

Tafeln graphisch aufgezeichnet, indem die Beleuchtungsstärke als Abscisse, die Sehdistanz als Ordinate aufgetragen wurde, und zwar wurden die Abscissenpunkte nicht in arithmetischer Progression, sondern in geometrischer aufgetragen. Es wurden also die Abscissenwerthe 1, 2, 4, 8, 16 in gleichen Abständen gewählt. Als Schlussresultat glaubt Posch sowohl für Lampen- als auch bei Sonnenlicht, jedoch nur innerhalb des Umfanges von der einfachen bis zur 16fachen Beleuchtungsstärke, das Gesetz aufstellen zu können: „Die Sehschärfe wächst wie der Logarithmus der Beleuchtungsstärke", oder „Die Sehschärfe wächst in arithmetischer Progression, wenn die Beleuchtungsstärke in geometrischer Progression zunimmt", oder „Der Gesichtswinkel, sowie die Grösse des kleinsten Netzhautbildes nimmt in arithmetischer Progression ab, wenn die Lichtintensität in geometrischer Progression steigt"*).

Von Marburg aus erschienen im Jahre 1876 zwei Dissertationen von E. Carp und Doerinckel**), welche die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung behandeln. Die Untersuchungen wurden zur Verminderung der Beleuchtung mit einem Apparate und noch einer Methode von Schmidt-Rimpler***) angestellt. Es wurden als Sehobjecte die Snellen'schen Haken benutzt. Ein Kasten von Blech mit rauchgrauen Gläsern von verschiedener Lichtabsorption, wurde dicht vor dem Gesicht angebracht, sodass fremdes Licht ausgeschlossen war. Im ganzen wurden zur stufenweisen Verminderung der Beleuchtung 6 Rauchgläser über einander gelegt, welche zusammen nur noch eine Lichtintensität = 3 durchliessen (die Tageshelligkeit = 1000 gesetzt). Carp hat seine Resultate auch in Curvenform aufgezeichnet. Individuelle Schwankungen sind darnach sehr erheblich. Dies Verhältniss wurde auch bei Ametropen untersucht. Doerinckel setzte die Untersuchungen von Carp fort und prüfte in derselben Weise eine Anzahl von älteren Individuen zwischen 43 und 59 Jahren.

---

*) „Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung", nebst Mittheilung einer neuen Methode den Lichtsinn zu messen (Inaugural-Dissertation, Marburg 1876).

**) „Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung" (Inaugural-Dissertation, Marburg 1876).

***) „Vorlegung eines Apparates zur Bestimmung des Lichtsinnes" (Tageblatt der 49. Naturforscher-Versammlung, No. 8, Hamburg 1876.

Doerinckel kommt zu dem Resultat, dass mit dem fortschreitenden Alter die Sehschärfe eine bedeutende Einbusse bei abnehmender Beleuchtung erleide.

Umfangreiche Untersuchungen über unser Thema sind dann ferner im Jahre 1877 von Annibale Ricco*) publicirt worden und die Resultate graphisch aufgezeichnet. Die Beleuchtungsintensität wurde durch einen Episcotister vermindert, im Ganzen sind die Grenzen, zwischen denen die angewendete Beleuchtungsintensität variirt wird, gering.

G. Albertotti**) hat nach verschiedenen Methoden Versuchsreihen über den Einfluss der Beleuchtung auf die Sehschärfe angestellt. Unter Anderem benutzt er auch die Snellen'schen Probetafeln in 1' Entfernung vom Beobachter am Ende eines dunklen Corridors, vom anderen Ende wird allmählich eine bestimmte Lichtquelle der Probetafel genähert und nun jedes Mal die Entfernung der Lampe notirt, wenn der Beobachter eine Reihe mehr erkennt. Wenn die grösste Beleuchtungsintensität, welche zur Erreichung von $S = 1$ nothwendig ist, gleich 1 gesetzt wird, so wurde die Beleuchtungsintensität variirt im Ganzen vom $1 : \frac{1}{32400}$, also eine verhältnissmässig schon sehr lange Beobachtungsreihe.

Sous***) publicirt in demselben Jahre 1878 über analoge Versuche, welche er mit dem Badal'schen Optometer angestellt. Die Beleuchtungsintensität wird nur in verhältnissmässig geringen Grenzen variirt (0,5 : 0,015).

In einer umfangreichen und sehr bemerkenswerthen Arbeit behandelt Javal†) 1879 unter Anderem auch den Einfluss der Beleuchtung auf die Sehschärfe namentlich vom schulhygienischen Standpunkte aus.

Cohn††) hat ebenfalls 1879 vergleichende Messungen der

*) Relazione fra il minimo angolo visuale et l'intensita luminosa. (Annali d'Ottalmologia diretti dal Prof. A. Quaglino, Anno VI, Pase III.

**) Sul rapporto tra V et L (Annal. di Ottalm. VII) 1878.

***) „Influence de l'éclairage sur l'acuité de la vision" (Le Bordeaux med. No. 28.)

†) „Essai sur la physiologie de la lecture", Annal. d'ocul. pag. 79, 80, 81 et 82, 1879.

††) „Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinnes bei Tages-, Gas- und elektrischem Licht" (Archiv für Augenheilkunde, VIII, 1879).

Sehschärfe bei Tages-, Gas- und elektrischem Licht angestellt im Wesentlichen von praktischen, schulhygienischen Gesichtspunkten aus.

Manolescu*) hat 1880 Beobachtungen über die Sichtbarkeit von kleinen runden Flächen und Linien im Dunkelzimmer publicirt, wenn dieselben aus wechselnder Entfernung beleuchtet wurden. Er kommt zu dem Schluss, dass bei wechselnder Beleuchtung und gleicher Grösse der Objecte (kleine runde Flächen und Linien), das Product aus der Entfernung der Lichtquelle und die Entfernung des Auges vom Objecte constant ist, was sich auch durch die Relation ausdrücken lässt: Dass der Gesichtswinkel unter dem die Objecte anfangen sichtbar zu werden, umgekehrt proportional ist der Quadratwurzel der Intensität.

Eine neue Bedeutung gewinnt die Frage über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität auch im monochromatischen Licht durch die wichtigen und eingehenden Untersuchungen von J. Macé de Lepinay und W. Nicati**), welche im Jahre 1881 und 1883 veröffentlicht wurden. Diese Autoren haben bei ihren Untersuchungen über die Helligkeit der verschiedenen Theile des Spectrums die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität benutzt, um photometrische Bestimmungen zu machen. Schon früher war ein solches Vorgehen von verschiedenen Autoren beobachtet worden. Wie Macé de Lepinay und W. Nicati citiren, hat schon Herschel in der Weise die hellste Stelle des Spectrums ermittelt, dass er eine bedruckte Seite in die verschiedenen Theile des Spectrums brachte und so constatirte, wo er am leichtesten lesen konnte. Ebenso besprechen Snellen und Landolt***) in ihrer Abhandlung über die Functionsprüfung des Auges eine Photometrie, welche auf der Sehschärfenbestimmung in zwei verschieden hellen Feldern

---

*) „Recherches relatives à l'étude de l'acuité visuelle, conditions de la visibilité des lignes et des points". (Annal. d'oculist. P. 38, 1880.)

**) „Recherches sur la comparaison photomètrique des diverses parties d'un même spectre" (Annal. de Chemie et de Physique cinq série, P. 24, 1881) und Annal. de Chimie et de Physique, 5 série, T. XXX, 2me mémoire, 1883).

***) Graefe-Saemisch, Handbuch der gesammten Augenheilkunde 1874, Bd. III, p. 32.

beruht, von denen die Helligkeit des einen Feldes bekannt ist. Macé de Lépinay und W. Nacati gehen nun von dem Satz aus, „dass zwei Lichtquantitäten unter sich gleich sind, wenn sie, von dem Auge desselben Beobachters wahrgenommen, auf dasselbe die gleiche Wirkung hervorbringen, und dass diese Wirkung unabhängig sein muss von dem Farbenton. Verfasser benutzen nun die Sehschärfe als das Mittel, um die Helligkeit der verschieden farbigen Strahlen kennen zu lernen. Wenn die Sehschärfe dieselbe ist bei verschieden farbigem Licht so ist das Licht gleich hell. Sie sprechen in dieser Hinsicht von Coëfficienten gleicher Sehschärfe und definiren den Ausdruck folgendermassen: „Die Coëfficienten gleicher Sehschärfe sind die Factoren, mit denen man die Quantität des objectiven Lichtes multipliciren muss, das in jede einzelne Gegend des Spectrums fällt, damit die Sehschärfe für einen bestimmten Beobachter die gleiche wird in allen Theilen des Spectrums.

Die experimentelle Anordnung, wie Verfasser sie getroffen, beruht ferner auf dem Satz: „dass die Quantität des objectiven Lichtes, welche in einen gegebenen Theil des Spectrums fällt, direct proportional ist, der Quantität des weissen Lichtes, welches die das Spectrum producirende Spalte hervorbringt. Die Experimente erfordern also: 1) Einen Spectralapparat, 2) Einen Apparat, die Menge des einfallenden Lichtes zu variiren, 3) die Methode, die Sehschärfe zu messen. Es ergiebt sich nun an der Hand der Experimente der Verfasser, dass die Sehschärfe im Spectrum vom äussersten Roth bis zur Wellenlänge 0,507 μ (Uebergang von reinem Grün zum Blaugrün) dieselbe bleiben wird, wenn man einmal dahin gelangt ist, ein Spectrum zu erhalten, wo in allen Theilen die gleiche Sehschärfe besteht, auch wenn wir die objective Lichtintensität beliebig variiren. Dagegen wächst die Sehschärfe im blauen Ende des Spectrums (von 0,507 μ Wellenlänge ab) langsamer und nimmt langsamer ab, als für die weniger brechbareren Strahlen bei der gleichen Aenderung der objectiven Beleuchtungsintensität, und diese Differenz ist um so vortretender, je mehr man sich vom Grün ab dem violetten Ende des Spectrums nähert. Verfasser ziehen aus diesen Thatsachen den Schluss auf besondere Eigenschaften der Blau empfindenden Elemente und dass die Sehschärfe (Unterscheidbarkeit von Objecten) im Wesentlichen von der Beleuchtung durch die weniger brechbaren Strahlen abhängig ist.

Aus dem Jahre 1883 liegen sodann noch Mittheilungen von Aug. Charpentier*) über einschlägige Versuche vor. Zur Herabsetzung der Beleuchtungsintensität benutzte er einen vor dem Objecte angebrachten Episcotister, vermittelst dessen er eine allmähliche Verdunckelung von $^2/_3$ der gegebenen Helligkeit bis auf $^1/_{36}$ derselben herbeiführen konnte. Die Probeobjecte (schwarze Vierecke auf weissem Grunde) mussten bei abnehmender Beleuchtung immer mehr angenähert werden, um noch erkannt zu werden. Charpentier machte seine Beobachtungen an vier hellen Tagen zu derselben Tageszeit, fand aber, dass bei voller Beleuchtung die Entfernung, in welcher das Object deutlich erschien, doch sehr verschieden gross war, nämlich von 3,3 bis zu 2,49 Meter differirte. Indem er die Beleuchtungsstärken auf der Abscisse, die Entfernungsmaxima als Ordinaten verzeichnet, findet er eine von 1 bis $^4/_{36}$ ziemlich gleichmässige. Dann aber bis 0 eine rasche Abnahme der Distanzen. Noch gleichmässiger und übrigens gleichsinnig ist die Curve bei Anwendung von Lampenlicht. In den meisten dieser Curven tritt aber eine Knickung in der Gegend auf, welche etwa der Hälfte der vollen Helligkeit entspricht."

Aus dem Jahre 1883 sind dann noch ferner Untersuchungen von H. Cohn**) zu erwähnen. Da die Resultate früherer Untersucher sehr differirten in den Zahlenwerthen über die Abnahme der Sehschärfe bei Verminderung der Beleuchtung, so suchte Cohn sich möglichst normale Augen („Uraugen") für seine Untersuchungen aus, und fand solche bei Kindern eines Gebirgsdorfes, welche zum Theil doppelte und überdoppelte Sehschärfe hatten. Cohn untersuchte mit dem von Schmidt-Rimpler angegebenen und vorhin erwähnten Apparat mit den Rauchgläsern, der vor den Augen der Kinder befestigt wurde. Die Absorptionsfähigkeit der Gläser wurde nachträglich mit verschiedenen Methoden

*) „Experiences relatives à l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle" (Arch. d'Ophthalmol., T. III, p. 37 [nach Michel Jahresber. 1883 citirt]).

**) „Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung" (Archiv für Augenheilkunde, Bd. XIII, p. 223).

bestimmt und hieraus die jeweiligen Beleuchtungsintensitäten gefunden. Die von Cohn gefundenen Werthe ergeben sehr grosse individuelle Differenzen bei den einzelnen Untersuchten Betreff der Abnahme der Sehschärfe bei der Verminderung der Beleuchtung und glaubt Cohn, dass wir noch weit entfernt sind von der Aufstellung eines Gesetzes über den Zusammenhang von Beleuchtungsintensität und Sehschärfe. Durchschnittlich behielten die untersuchten Kinder bei $J. = \frac{1}{16}$ noch über $\frac{4}{5}$ Sehschärfe, es ist ferner sehr bemerkenswerth, dass es Augen giebt, die selbst bei $J. = \frac{1}{364}$ noch $S. = 1$, bei $J. = \frac{1}{2604}$ noch $S = 0{,}86$, bei $J. = \frac{1}{18868}$ noch $S = 0{,}78$ und bei $J. = \frac{1}{142857}$ noch $S. = 0{,}71$ behalten.

Von Leonhard Weber*) ist im Jahre 1883 dann noch ein photometrischer Apparat angegeben, auch geeignet zur Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes, indem der Autor die Erkennbarkeit von Liniensystemen benutzt.

Aus dem Jahre 1884 sei hier noch eine Angabe von Macé de Lépinay und Nicati**) angeführt, wonach die binoculäre Sehschärfe bei einem Untersuchten mit zwei normalen gesunden Augen ebenso hoch sein soll, wie die monoculäre bei doppelter Beleuchtung. Dies Resultat weicht von Angaben anderer Beobachter ab, nach denen beim binoculären Sehen die Helligkeit des Eindrucks nur um ein Geringes vermehrt wird.

Im Uebrigen betreffen die verdienstvollen Arbeiten der letzten Jahre 1884 und 1885 (von Bjerrum, Samelson, Wolffberg, Treitel, Ole Bull, Kolbe u. A.) nicht mehr unser specielles Thema im strengsten Sinne, sondern es sind Lichtsinnmessungen im weiteren Sinne (Ermittelung der Reizschwelle und der Unterschiedsschwelle für verschiedene, absolute Helligkeiten, sie beruhen zum andern Theil auf der ungleichen Erkennbarkeit der verschiedenen Farben bei herab-

---

*) „Mittheilung über einen photometrischen Apparat" (Annal. der Physik und Chemie. N. F., Bd. 20, p. 326.

**) „De l'acuité visuelle binoculaire" (Bull. de la société franc. d'ophthalm. 1884, p. 56).

gesetzter Beleuchtung und haben in erster Linie ein grosses Interesse für die Pathologie des Sehorgans und besonders für die Ermittelung der Lichtsinnalterationen bei den verschiedenen intraoculären Augenerkrankungen. Ebenso habe ich die umfangreiche Literatur über die Wahrnehmbarkeit der Pigmentfarben bei sehr schwacher Beleuchtung (Aubert, Cohn, Grossmann, Kramer, Charpentier u. A.) nicht mit in Betracht gezogen. — Von den oben aufgeführten Arbeiten waren mir nicht alle im Original zugängig und habe ich dieselben zum Theil nach den ausgezeichneten Referaten im Michel'schen Jahresbericht (Aubert Referent) citirt.

Werfen wir noch einmal einen kurzen Blick auf die oben citirten einschlägigen Arbeiten, so zeigt sich in erster Linie das Streben der Autoren, wie es in der Preisaufgabe der Innsbrucker medicinischen Facultat direct seinen Ausdruck findet, ein bestimmtes mathematisches Gesetz für die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität zu statuiren. Und die grosse Bedeutung eines solchen festen Gesetzes in photometrischer Hinsicht, wenn auch nur für das gesunde Auge, liegt ja klar zu Tage. Es würde eben möglich werden, wenigstens für ein bestimmtes untersuchtes normales Auge, an der Hand der Sehschärfen-Prüfung bei verschiedener Beleuchtung, numerische Bestimmungen der absoluten Helligkeiten vorzunehmen. In der That nun haben einige der vorhin erwähnten Autoren ein derartiges feststehendes Gesetz über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität statuirt, während andere wieder die Berechtigung eines solchen in Abrede stellen und sich damit begnügen, ihre Resultate in Tabellen oder Curvenform graphisch darzustellen. Tobias Mayer gelangte an der Hand seiner Versuche zu dem Resultat: Dass die Gesichtswinkel sich umgekehrt oder die Sehschärfen sich gerade verhalten, wie die 6. Wurzeln aus den Lichtintensitäten, er variirte die Beleuchtung im Verhältniss von 1 : 676, Posch spricht den Satz aus, dass die Sehschärfe wächst wie der Loga-

rithmus der Beleuchtungsstärke, oder dass die Sehschärfe in arithmetischer Progression zunimmt, wenn die Beleuchtungsstärke in geometrischer Progression wächst. Wohlverstanden statuirt Posch ein solches Gesetz nur, wenn die Beleuchtungsintensität nicht stärker variirt, als im Verhältniss von 1 : 16, geht er beim Wechsel der Beleuchtung über diese Grenzen hinaus, so hebt Posch selbst hervor, dass das Gesetz nicht mehr ganz zutreffend sei. Manolescu statuirt den Satz: dass bei wechselnder Beleuchtung und gleichbleibender Grösse der Objecte (Punkte und Liniensysteme) das Product aus der Entfernung der Lichtquelle und der Entfernung des Auges vom Objecte constant ist. Aus der Tabelle des Verfassers geht jedoch hervor, dass auch er die Beleuchtungsintensitäten nur in sehr kleinen Grenzen variirt (höchstens wie 1 : 64). Aber auch in diesen engen Grenzen scheinen uns die vom Verfasser gewonnenen Zahlenwerthe kaum hinreichend genau übereinzustimmen, um daraus das obenstehende Gesetz zu formuliren. Also nur bei Variation der Beleuchtung in verhältnissmässig engen Grenzen sind vereinzelte Autoren zu angeblich festen Gesetzen über die Abhängigkeit der Sehschärfen von der Beleuchtungsintensität gekommen, aber auch hier noch sind die gewonnenen Resultate sehr different von einander. Die meisten Bearbeiter dieser Fragen (Foerster, Aubert, Klein, Macé de Lépinay u. Nicati, Ricco, Cohn, Charpentier, Albertotti, Carp, Doerinckel) kommen nicht zur Aufstellung solcher festen Gesetze und existirt ein solches nach den bisherigen Arbeiten auch nicht, das da allgemeine Gültigkeit hätte, wenn die Beleuchtungsintensität innerhalb sehr weiter Grenzen variirt wird.

Bei diesem Stande der Frage schien es von Interesse, von Neuem Versuchsreihen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität anzustellen, die Angaben der früheren Autoren zu controlliren und dieselben

namentlich nach zwei Richtungen zu ergänzen. Zunächst stellten wir es uns zur Aufgabe, die Beleuchtungsintensität noch in weiteren Grenzen zu variiren, als das von früheren Untersuchern geschehen war, um so Beobachtungsreihen zu bekommen, welche geeignet sind, einen vollständigen und zusammenhängenden Ueberblick über das Wachsen der Sehschärfe mit der Zunahme der Beleuchtung zu geben, und zwar von ganz minimalen Intensitäten an, bis zu so hohen, dass eine weitere Steigerung der Beleuchtung nicht mehr im Stande war, die Sehschärfe zu heben. Die Beleuchtungsintensitäten wurden variirt im Verhältniss von 1:360000, ja für weisses Licht bei einer Reihe der Untersuchten im Verhältniss von 1:3600000. Es liegt ja auf der Hand, dass bei den ganz minimalen Intensitäten die Sehschärfe nur eine sehr geringe sein konnte und wurde S = 0,0015 (Sn CC in 10 Cm.) als unterste Grenze der Sehschärfe aufgestellt. Die Erfahrung lehrte, dass, wenn die Beleuchtung nur noch etwas weiter herabgesetzt wurde, man von dem weissen Felde mit dem grossen schwarzen Probezeichen auch aus grösster Nähe absolut nichts mehr erkannte, das Sehen also gleich Null wurde.

In zweiter Linie aber machten wir diese Beobachtungsreihen auch im monochromatischen farbigen Licht (Roth, Gelb, Grün und Blau) und zwar innerhalb derselben Intensitäts-Grenzen wie beim weissen Licht. Auf die Methode werde ich weiter unten zurückkommen.

Was nun die ersten Versuchsreihen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von nicht monochromatischer variabler Beleuchtung anbetrifft, so war die Beobachtungs-Anordnung eine thunlichst einfache. Auf einem 21 M. langen, absolut dunklem Corridor des physikalischen Instituts (die Versuche wurden Abends angestellt und das einzige Fenster mit Tapeten vernagelt) wurde die Prüfung der Sehschärfe

bei einer kleinen gleichmässig brennenden Petroleumlampe, welche eine Leuchtkraft von 4 Normalkerzen repräsentirte, angestellt. Die Lampe wurde unter ein schornsteinartiges, oben verschlossenes Blechrohr gestellt, welches nur an seiner Vorderfläche in Flammenhöhe einen kleinen mit einer Röhre versehenen Ausschnitt hatte, so dass das Licht der Lampenflamme nur durch diesen Ausschnitt nach vorn auf das zu untersuchende Probeobject fiel. Es wurden die Snellen'schen Hakentafeln für diese Versuche verwendet. Von jeder Nummer wurde eine in der Mitte eines grossen weissen Pappendeckels aufgeklebt und nun dieser Deckel immer wieder umgedreht und von Neuem hingehalten, so dass ein Vorurtheil des Untersuchten möglichst vermieden wurde. Es wurde nun diese abgeblendete Lampe in nächster Nähe des Probeobjectes aufgestellt, so dass dasselbe ganz intensiv beleuchtet war und dann allmählich immer weiter entfernt in dem 21 Meter langen dunklen Corridor, und bei jeder Entfernung die Sehschärfe des Untersuchten notirt. Die zuletzt noch nöthigen Abschwächungen der Beleuchtungsintensitäten wurden dann durch Vorsetzen von rauchgrauen Gläsern bestimmt, deren Lichtabsorptionsvermögen nachträglich auf photometrischem Wege bestimmt wurde. Mit dieser Abschwächung der Beleuchtungsintensität wurde dann so lange vorgegangen, bis der Untersuchte auch aus grösster Nähe positiv Nichts mehr sah, als niedrigste Sehschärfe wurde dann noch Sn CC in 10 Cm. (S. = 0,0015) mit der betreffenden Beleuchtungsintensität notirt.

Analog wurden die Untersuchungen im monochromatischen farbigen Licht angestellt und zwar zunächst für Roth, indem rothe Gläser vor die Flamme gesetzt wurden und für Blau, indem nach Vorschlag des Herrn Geh. Rath v. Helmholtz eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak zwischen parallelen Glaswänden vor die Oeffnung des Schornsteins gesetzt wurde. Später bin ich

nach Vorschlag des Herrn Dr. Koenig in der Weise zu Werk gegangen, dass ich grosse quadratische Bretter von weichem Lindenholz mit den farbigen Tuchen überzog, wie sie von Wolffberg bei seinen Versuchen benutzt worden sind, und die ebenfalls aus der Fabrik von J. Marx aus Lamprecht bezogen wurden. Zur Verwendung kamen rothes, gelbes, grünes und blaues Tuch. Diese Tuche zeichnen sich, wie Wolffberg das hervorhebt, und wie auch wir das dnrch die spectroskopische Untersuchung bestätigt gefunden haben, durch eine besondere Reinheit der Farben aus. Auf dem so hergestellten farbigen Grunde wurde in der Mitte mit einer feinen geschwärzten Nadel je ein ausgeschnittener schwarzer Haken der Snellen'schen Tafeln in beliebiger Auswahl befestigt und nun, ohne dass der Untersuchte es bemerkte, in beliebiger Richtung herumgedreht. Um jedes Glänzen der ausgeschnittenen schwarzen Haken zu beseitigen, wurden dieselben sorgfältig über einer Terpentinflamme berusst. Diese farbigen Tafeln mit den schwarzen Zeichen wurden dann, wie früher beschrieben, mit der betreffenden Petroleumlampe aus wechselnder Entfernung beleuchtet. Untersucht wurden zunächst eine Anzahl von physikalisch gebildeten Personen mit guter Sehschärfe und gutem Farbensinn, denen die Begriffe von Ermüdung der Netzhaut, Nachbildern, Blendung, Adaptation u. s. w. geläufig waren und die dementsprechend alle hieraus resultirenden Fehlerquellen nach Möglichkeit vermieden. Ich habe sodann auch noch derartige Versuchsreihen bei zwei Beobachtern (Physikern) mit congenitalen Anomalien des Farbensinns angestellt, auf die ich später zurückkomme.

Versuchsresultate zunächt von Beobachtern mit guter Sehschärfe und gutem Farbensinn und nach sorgfältiger Correction einer etwa vorhandenen Refractions-Anomalie:

Herr R.

Intensität.	Sehschärfe für				
	Weiss.	Gelb.	Roth.	Grün.	Blau.
3600	2,03	2,0	1,82	0,63	0,45
1175	1,70	1,85	1,44	0,61	0,39
400	1,52	1,69	1,33	0,37	0,28
144	1,34	1,54	1,08	0,20	0,17
36	1,05	1,13	0,58	0,12	0,087
15	0,85	0,77	0,43	0,080	0,067
6	0,68	0,61	0,26	0,075	0,057
1,5	0,33	0,28	0,063	0,069	0,046
0,6	0,15	0,18	0,006	0,038	0,033
0,1	0,070	0,049	—	0,004	0,002
0,01	0,043	0,018	—	—	—
0,0034	0,0037	nicht weiter geprüft.	—	—	—
0,0021	0,0015		—	—	—

U.

3600	2,0	2,15	2,0	0,66	0,37
1175	2,0	2,15	1,74	0,56	0,32
400	1,80	2,10	1,53	0,35	0,25
144	1,59	1,68	1,12	0,16	0,14
36	1,14	0,92	0,61	0,092	0,077
15	0,93	0,74	0,43	0,077	0,066
6	0,74	0,53	0,26	0,069	0,056
1,5	0,34	0,26	0,058	0,058	0,046
0,6	0,21	0,16	0,007	0,044	0,033
0,1	0,074	0,038	—	0,004	0,002
0,01	0,024	0,015	—	—	—
0,0034	0,004	nicht weiter geprüft.	—	—	—
0,0015	0,0015		—	—	—

Herr D.

Intensität.	Sehschärfe für				
	Weiss.	Gelb.	Roth.	Grün.	Blau.
3600	1,90	2,0	1,90	0,71	0,41
1175	1,87	1,8	1,69	0,64	0,35
400	1,50	1,69	1,23	0,40	0,22
144	1,24	1,54	1,08	0,24	0,11
36	0,89	1,33	0,57	0,12	0,066
15	0,70	0,62	0,33	0,088	0,048
6	0,56	0,47	0,27	0,067	0,036
1,5	0,30	0,23	0,095	0,046	0,032
0,6	0,12	0,10	0,015	0,030	0,024
0,1	0,061	0,042	—	0,004	0,002
0,01	0,009	0,012	—	—	—
0,0034	0,0037	nicht weiter geprüft.	—	—	—
0,0021	0,0015		—	—	—

Herr K.

3600	1,77	1,45	1,15	0,38	0,25
1175	1,77	1,35	1,07	0,29	0,25
400	1,32	1,28	0,97	0,20	0,16
144	0,57	0,87	0,80	0,12	0,11
36	0,36	0,70	0,49	0,10	0,073
15	0,22	0,42	0,32	0,087	0,065
6	0,17	0,40	0,19	0,077	0,061
1,5	0,10	0,21	0,050	0,055	0,058
0,6	0,080	0,15	0,007	0,040	0,030
0,1	0,063	0,077	—	0,015	—
0,01	0,017	0,024	—	—	—
0,0034	0,006	nicht weiter geprüft.	—	—	—
0,00027	0,0015		—	—	—

Herr A.		Herr W.	
Intensität.	Sehschärfe für Weiss.	Intensität.	Sehschärfe für Weiss.
3600	1,92	14400	1,538
1175	1,92	3600	1,538
711,1	1,8	1175	1,452
400	1,55	711,1	1,33
225	1,49	400	1,27
68,5	1,34	225	1,092
36	1,03	144	0,846
14,5	0,82	68,5	0,777
6,12	0,67	36	0,692
3,11	0,51	14,5	0,6
1	0,093	6,1	0,363
0,41	0,09	3,1	0,277
0,1	0,06	1,0	0,152
0,025	0,02	0,64	0,83
0,0034	0,0015	0,1	0,046
		0,025	0,026
		0,0034 . . .	0,0015

Von den beiden zuerst aufgeführten (Herr R. u. U.) habe ich die nach den gefundenen Zahlenwerthen sich ergebenden Curven auf Taf. I. beigegeben. Wir hatten beide S = 2 mit Emmetropie bei Herrn R. und schwacher Myopie bei mir. Die Curven sind also aufgenommen, wie oben angegeben, für weisses und monochromatisches (gelb, roth, grün, blau) Licht, die Intensitäten sind auf die Abscisse eingetragen im Massstab von 1 J. = 0,25 Mm. und die Sehschärfen auf die Ordinaten im Verhältniss von 0,1 S. = 5 Mm. Als Einheit für die Beleuchtungsintensität wurde eine Normalkerze aus 6 Meter Entfernung zu Grunde gelegt. Die bei den übrigen Untersuchten gewonnenen Curven haben einen mit den unsrigen sehr analogen Verlauf, ich begnüge mich jedoch damit, nur die

gewonnenen Zahlen anzugeben. Ein Blick auf die auf Taf. I. gezeichneten Curven lehrt zunächst eine fast völlige Gleichartigkeit für die verschiedenen Curven von uns beiden. Halten wir uns zunächst an die Weiss-Curven, so zeigt sich, dass bei den geringen Beleuchtungsintensitäten ein verhältnissmässig sehr schnelles Anwachsen der Sehschärfen stattfindet, es machen dann die Curven in der Gegend von J. = 144 (4 Normalkerzen in 1 Meter Entfernung) einen ziemlich scharfen Bogen, um von da ab nur noch ziemlich langsam in die Höhe zu gehen. Bei einer Beleuchtungsintensität von 1175 (33 Normalkerzen in 1 Meter Entfernung) ist für meine Augen der Höhepunkt der Sehschärfe erreicht, und ist eine weitere Steigerung der Intensität nicht mehr im Stande, die Sehschärfe anwachsen zu lassen. Bei Herrn R. tritt dieser Höhepunkt der Sehschärfe erst ein wenig später ein. Auch bei den übrigen untersuchten normalen Augen tritt ungefähr in derselben Gegend (Beleuchtungs-Intensität 1175 = 33 Normalkerzen in 1 Meter Entfernung) oder etwas später der Höhepunkt der Sehschärfe ein und verlaufen von da ab die Curven der Abscisse parallel, so dass also eine noch weitere Steigerung der Beleuchtungsintensität nicht mehr im Stande war, die Sehschärfe noch weiter anwachsen zu lassen. Wann bei Anwendung sehr greller Beleuchtungsintensitäten, über die wir eben nicht mehr verfügten, die Sehschärfe zuletzt wieder eine Abnahme wegen Blendung erfährt, bleibt noch zu untersuchen. Jedenfalls stimmen unsere Untersuchungsergebnisse darin mit denen der meisten anderen Autoren (Aubert u. A.) ein, dass die grösstmöglichste Sehschärfe schon eintritt, wenn die Beleuchtungsintensität noch nicht ihren Höhepunkt erreicht hat, während Klein dagegen angiebt, dass, je stärker die angewendete Beleuchtung sei (elektrische Beleuchtung), so lange auch noch ein Steigen der Sehschärfe nachweisbar sei, wenn auch zuletzt nur noch in sehr geringem Grade.

Was im Uebrigen die von Klein gewonnenen Curven über Sehschärfe und Beleuchtungsintensität betrifft, so haben dieselben eine grosse Aehnlichkeit mit den von uns gewonnen. Unsere Prüfungen der Sehschärfe wurden immer binoculär vorgenommen.

Die Betrachtung der bei gelbem, monochromatischem Lichte gewonnenen Curven lehrt uns sodann bei den verschiedenen Untersuchten, dass dieselben eine mit den „Weisscurven" (Petroleumlampe, schwarze Zeichen auf weissem Grunde) sehr ähnlichen und analogen Verlauf haben mit ungefähr derselben scharfen Biegung bei ziemlich der gleichen Beleuchtungsintensität. Ja, bei einigen der Untersuchten ergiebt sich die unzweifelhafte Thatsache (s. d. Curven Taf. I), dass bei gelbem monochromatischem Lichte (schwarzes Zeichen auf gelbem Grunde, Lampenbeleuchtung), die Sehschärfe früher ihren Höhepunkt erreicht, als bei den Weisscurven und überhaupt die vorhin gewonnenen Sehschärfen etwas überragt. Ich erinnere hier an den von Javal*) gemachten und auch vom hygienischen Congress in Turin (1880) angenommenen Vorschlag, das Druckpapier gelblich oder auch gelb zu wählen. Javal ging bei diesem Vorschlag von dem Gedanken aus, dass man so, da das Auge nicht achromatisch sei, am sichersten farbige Zerstreuungskreise vermeide. Unsere Untersuchungen zeigen, dass thatsächlich dieselbe Beleuchtungsintensität (Petroleumlampe in wechselnder Entfernung) für schwarze Zeichen auf gelbem Grunde die gleiche, ja zum Theil noch eine etwas höhere Sehschärfe giebt, als für schwarze Zeichen auf weissem Grunde. Andere Autoren haben sich bekanntlich gegen diesen Vorschlag von Javal ausgesprochen (Cohn, Kolbe u. A.)

---

*) „De la couleur à donner au papier d'imprimerie" (Soc. de biolog. 22. Février 1879).

Kolbe*) macht namentlich dagegen geltend, dass farbiger Grund das Auge mehr als weisser ermüde und zwar um so mehr, je intensiver die farbigen Nachbilder sind, welche die betreffende Farbe erregt.

Den eben besprochenen Curven über Sehschärfe und Beleuchtung bei weissem und gelbem Grund, schliessen sich sodann diejenigen für schwarze Probezeichen auf rothem Grunde an. Fast bei allen Untersuchten erreicht zunächst bei der stärksten angewendeten Beleuchtungsintensität die Sehschärfe doch nicht ganz die Höhe, wie bei gleicher Intensität unter Anwendung von weissem und gelben Licht, nur bei mir steigt die Sehschärfe auch hier auf 2 wie bei schwarzen Zeichen auf weissem Grunde.

Die Roth-Curven unterscheiden sich sodann dadurch von den vorhin erwähnten, dass sie auch in ihrem letzten Ende (bei den hohen Beleuchtungsintensitäten) nicht parallel mit der Abscisse verlaufen, sondern noch immer continuirlich ansteigen. Bei der Intensität 144, wo bei den Weiss- und Gelbcurven das ziemlich scharfe Umbiegen gegen die Abscissen stattfindet, zeigt sich ferner bei den Rothcurven die Krümmung als eine allmählichere. Für die schwächeren Intensitäten ist auch bei den Rothcurven mit der Zunahme der Beleuchtung das Ansteigen der Sehschärfe ein verhältnissmässig schnelles. Bei den ganz schwachen Beleuchtungen stellt sich jedoch eine wesentliche Differenz zwischen den Weiss- und Gelbcurven auf der einen Seite und den Rothcurven auf der anderen heraus. Bei der Beleuchtungsintensität 0,1, wo bei weissem und gelben Licht noch immer eine Sehschärfe von 0,01 bis 0,07 besteht, wird bei rothem Licht von allen Untersuchten schon absolut gar nichts mehr gesehen. Die Frage, welche sich ja nun zunächst aufdrängt bei einem so deutlich

*) Ueber den Einfluss der relativen Helligkeit und der Farbe des Papiers auf die Sehschärfe" (Pflüger's Arch. für Physiologie 1885).

verschiedenen Verlauf der Rothcurve, ist naturgemäss die, ob sich der Verlaufsunterschied nicht lediglich aus der verminderten Helligkeit erklärt und unabhängig ist von dem Farbenton; denn selbstverständlich wird, wenn ich eine rothe Fläche und andererseits eine weisse oder gelbe mit derselben Lampe beleuchte, von der rothen viel weniger Licht reflectirt, als von der weissen oder gelben, da ja die Lampe verhältnissmässig weniger rothe Strahlen enthält. Ein besonderes Interesse erhält diese Frage noch durch die Arbeiten von Macé de Lépinay und Nicati, die ja, wie schon vorhin erwähnt, die Helligkeit der verschiedenen Theile des Spectrums in der Weise bestimmten, dass sie Sehschärfenmessungen in den verschiedenfarbigen Theilen anstellten und eine gleiche Helligkeit dann annahmen, wenn die Sehschärfe dieselbe war. Und sie kamen zu dem Resultat, dass die Sehschärfe lediglich abhängig sei von der Lichtintensität der verschiedenfarbigen Theile des Spectrums, unabhängig dagegen von dem Farbenton. Wenigstens wird die Richtigkeit dieses Satzes angenommen für das Spectrum vom äussersten Roth bis zur Wellenlänge 0,507 μ (Uebergang vom reinen Grün zum Blaugrün), während von da ab für das blaue Ende des Spectrums die Wahrnehmungsempfindlichkeit langsamer wächst und langsamer abnimmt für blaues Licht, als für rothes und grünes bei der gleichen Aenderung der objectiven Lichtintensität.

Zur Beantwortung jener vorhin aufgeworfenen und erörterten Frage für das monochromatische rothe Licht habe ich zunächst an der Hand meiner gewonnenen Zahlen durch einfache Rechnung Aufschluss zu erhalten gesucht. Ich nahm z. B. eine beliebige Sehschärfe aus meiner Rothcurve heraus: etwa 1,59 suchte hierzu die betreffende Intensität 800; wenn die Sehschärfe sich dann auf 0,88 erniedrigte, so gehörte hierzu die Intensität 80, die betreffenden Intensitäten verhielten sich also wie

1:10. In der Weisscurve entsprach einer Sehschärfe von 1,59 eine Beleuchtungsintensität 144 und einer Sehschärfe von 0,88 eine Intensität von 12, die betreffenden Beleuchtungsintensitäten verhielten sich also wie 1:12, ungefähr dasselbe Verhältniss, wie vorhin bei der Rothcurve. Aehnliche Rechnungen für andere Sehschärfen und Intensitäten der Roth- und Weisscurve gaben ähnliche ziemlich übereinstimmende Resultate, so dass ich also bei den stärkeren Beleuchtungsintensitäten in mässigem Umfange die Angaben von Macé de Lépinay und Nicati im Grossen und Ganzen bestätigt fand. Führte ich jedoch solche Berechnung bei den verhältnissmässig geringen Beleuchtungsintensitäten für rothes und weisses Licht aus, so kam ich zu wenig übereinstimmenden Resultaten, und hier hatte das von Macé de Lépinay und Nicati aufgestellte Gesetz entschieden keine allgemeine Gültigkeit mehr. Ich suchte ferner noch über diese Frage in der Weise Aufschluss zu erhalten, dass ich zunächst in monochromatischem rothen Lichte (Vorsetzen von rothen Gläsern vor die Lampe, die in 20 Cm. vom Objecte stand), die Sehschärfe feststellte, und nun durch weiteres Abrücken der Lampe die Rothcurve construirte. Sodann ward die Lampe wieder bis auf 20 Cm. dem Objecte genähert, und jetzt durch Vorsetzen von derartigen rauchgrauen Gläsern die Beleuchtung so weit herabgesetzt, dass ich genau wieder dieselbe Sehschärfe hatte, wie vorhin zuerst bei dem rothen Glase. Durch Abrücken der Lampe mit rauchgrauen Gläsern jetzt wieder in dieselben Entfernungen wurde eine Vergleichscurve aufgestellt zu der Rothcurve. Handelte es sich nun bei der Rothcurve in Bezug auf die Sehschärfe nur um die Helligkeit und nicht um den Farbenton, so mussten beide Curven (rothe und rauchgraue Gläser) analog ausfallen. Der Versuch zeigte jedoch, dass ein gewisser Unterschied im Curvenverlauf deutlich besteht, wenn derselbe auch nicht sehr gross zu nennen ist.

U.

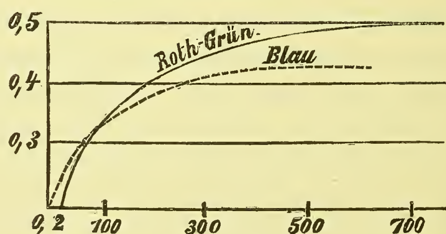
Intensität des Lichtes.	Sehschärfe bei rothem Glas.	Sehschärfe bei rauchgrauen Gläsern.
3600	1,65	1,65
144	0,87	1,021
36	0,5	0,532
12	0,15	0,181
1,59	0,04	0,12
1	0,035	0,084
0,64	0,022	0,081

Die Zahlen zeigen auch hier, dass der grössere Unterschied in der jedesmaligen Sehschärfe mehr bei den geringeren Beleuchtungsintensitäten hervortritt.

Die Curven über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität für schwarze Probezeichen auf grünem und blauem Grunde zeigen bei allen daraufhin Untersuchten einen sehr analogen Verlauf, wie das auch besonders die auf Tafel I gegebenen Curven zeigen. Auch unter sich ist der Verlauf der Grün- und Blaucurve sehr ähnlich, nur zeigt sich eben deutlich, dass in der Grüncurve bei den grösseren Beleuchtungsintensitäten die Sehschärfe mit Zunahme der Beleuchtung doch noch continuirlich, wenn auch viel langsamer, als z. B. in der Rothcurve, wächst, auch bleibt die Sehschärfe im Vergleich zum weissen, gelben und rothen Licht verhältnissmässig sehr niedrig. Die Blaucurven verlaufen bei den schwächeren Beleuchtungintensitäten fast ganz parallel mit den Grüncurven, jedoch bleibt die Sehschärfe etwas geringer; bei den stärkeren Beleuchtungsintensitäten verlaufen die Blaucurven fast völlig parallel mit der Abscisse, so dass die Zunahme der Beleuchtung zuletzt fast gar keinen Einfluss mehr hat auf das Steigen der Sehschärfe und die auch bei den stärksten Beleuchtungsintensitäen erzielte Sehschärfe

bleibt sehr gering. Es zeigt sich also hier die Erscheinung, dass, wenn beim blauen Lichte die Beleuchtungsintensität auch in weiten Grenzen variirt wird, die Sehschärfe sich verhältnissmässig wenig ändert. Dies Resultat stimmt ganz überein mit den von Macé de Lépinay und Nicati gefundenen Thatsachen, welche zu dem Schluss kommen, dass die Sehschärfe langsamer wächst und langsamer abnimmt für Blau als für die weniger brechbareren Strahlen bei einer gleichen Aenderung der objectiven Lichtintensität, und dass diese Erscheinung um so mehr hervortritt, je mehr man vom Grün ab die brechbareren Strahlen in Betracht zieht. Diese Autoren geben auch ein Paar Curven, über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität bei verschieden farbigem Lichte, welche diese Thatsachen demonstriren, und die im Wesentlichen mit den von uns gewonnenen Resultaten übereinstimmen. Die Blaucurve (auf der Abscisse die Intensitäten, auf den Ordinaten die Sehschärfen) steigt anfangs ziemlich schnell empor, verläuft aber später mehr der Abscisse parallel, während die Curve für den weniger brechbareren Theil des Spectrums anfangs noch steiler ansteigt und auch bei den höheren Beleuchtungsintensitäten noch wächst.

Fig. 1.



Einigermaassen abweichend von den eben erwähnten Resultaten Macé de Lépinay's und Nicati's ist der Verlauf der von uns gewonnenen Grüncurve (schwarze Zeichen

auf grünem Grunde). Dieselbe nähert sich, wie man aus den beigegebenen Zeichnungen auf Tafel I sieht, sehr dem Verlauf dem Blaucurve an, obwohl wir, wie auch die spektroskopische Untersuchung lehrte, ein reines, wenn auch etwas dunkles Grün benutzten.

Ein Uebelstand tritt bei den auf Tafel I gezeichneten Curven zu Tage; bei den schwachen Intensitäten ist der Verlauf der Curven ein sehr steiler, und da die Beleuchtungs-Intensität im umgekehrt quadratischen Verhältniss mit der Entfernung der Lichtquelle wächst, so ist dies letzte Ende der Curven wenig geeignet (eben wegen der zu geringen Vergrösserung) die Einzelheiten in Bezug auf das Zunehmen der Sehschärfe bei schwachen Beleuchtungs-Intensitäten zu illustriren.

Ich habe daher im vergrösserten Maassstabe, namentlich für die Beleuchtungs-Intensität die Anfangsstücke der Curven noch besonders gezeichnet, und zwar auf Tafel II von der Intensität 0—15 in dem Maassstabe von 0,01 Intensität = 0,5 mm auf der Abscisse und 0,1 Sehschärfe = 10 mm auf den Ordinaten. Auch diese Curventafel illustrirt, wie Tafel I, das verhältnissmässig schnelle Ansteigen der Sehschärfe bei den schwachen Beleuchtungs-Intensitäten, nur eben in übersichtlicherer Weise.

Die Fortführung der Curven bis zum Nullpunkt der Intensität gehörte für mich mit zu dem interessantesten Theil der Untersuchungen, namentlich für das weisse Licht. So z. B. die Bestimmung des numerischen Werthes der geringsten Beleuchtungs-Intensität, welche erforderlich war für die verschiedenen Untersuchten, um noch gerade eine räumliche Wahrnehmung machen zu können (Sn. CC in 10 cm). Wie gross fallen auch schon beim normalen Auge hier die Differenzen aus. Herr König z. B. übertraf, was das Sehen bei ganz schwacher Beleuchtungs-Intensität anbetrifft, uns Alle; er konnte noch bei einer Beleuchtungs-Intensität von 0,000276 (Lampe in 12 m als

Einheit) Sn. CC in 10 cm erkennen. Er hatte also noch S = 0,0015, wenn die Intensität der Beleuchtung nur den 4260000. Theil von derjenigen betrug (1175), welche seine Sehschärfe auf ihren Höhepunkt brachte. — Ich hatte noch S = 0,0015, wenn die Intensität den 783333. Theil der Intensität 1175 ausmachte, welche meine Sehschärfe bis auf ihre grösste Höhe (2,0) steigerte; und doch war meine Sehschärfe eine höhere als die des Herrn K. und wuchs namentlich im schnellerem Verhältniss als die des Herrn K. bei zunehmender Beleuchtungs-Intensität. — Bei einem dritten Untersuchten, Herrn W., betrug die geringste Intensität der Beleuchtung, bei welcher er noch S = 0,0015 hatte, den 345585. Theil von Intensität 1175; dieser Beobachtete hatte übrigens auch noch nicht bei 1175 seine maximale Sehschärfe erreicht, sondern erst bei einer etwas höhern Intensität. Herr W. beklagte sich übrigens auch im gewöhnlichen Leben über leichte hemeralopische Beschwerden Abends in der Dämmerung.

Reduciren wir unsere Lampe in 12 m auf 1 normale Kerze als Einheit, so muss dieselbe in 6 m Entfernung stehen, da unsere Lampe eine Leuchtkraft von 4 Normalkerzen hatte. Und die Rechnung ergiebt uns hier für die beiden Extreme (Herren K. und W.), dass ersterer noch 0,0015 S hat bei Beleuchtung der Probeobjekte mit 1 Kerze aus 363 m Entfernung und Letzterer 0,0015 S bei 1 Kerze in 102 m Entfernung, für mich selbst betrug die betreffende Entfernung 1 Kerze vom Probeobject, damit ich noch Sn. CC in 15 (S = 0,0015) sah, 154 m.

Im farbigen Licht (Roth, Grün und Blau) fallen diese Werthe viel geringer aus, so wurde schon im rothen Licht bei Intensität 0,1 oder 1 Normalkerze in 19 m Nichts mehr gesehen von allen fünf darauf Untersuchten. Bei grünem und blauem Licht erlosch das Sehen meistens erst bei einer Intensität von 0,01, d. h. 1 Normalkerze in 60 m vom Object, für blaues Licht allerdings schon bei einem

Theil der Untersuchten auch bei der Intensität von 0,1 (1 Kerze in 19 m).

Von Interesse erschien es mir nun, derartige Curven über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungs-Intensität im weissen und farbigen Licht, auch bei physikalisch gebildeten Personen mit congenital anomalem Farbensystem aufzustellen. Zunächst war ein Physiker, Herr Br., mit congenitaler Grünblindheit (die genauere Analyse seines Farbensystems wird demnächst in einer eingehenden Arbeit der Herren Dr. König und Dr. Dieterici gegeben werden) so freundlich, derartige Versuchsreihen mit sich anstellen zu lassen. Die an ihm gewonnenen Curven sind auf Tafel III eingezeichnet, analog wie auf Tafel I und II im kleinern und grössern Maassstabe, sie haben, wie man sieht, in ihrem Verlauf etwas Besonderes und Abweichendes von den Curven der übrigen Untersuchten mit einem normalen trichromatischen Farbensystem. Zunächst zeigt sich, dass bei den höhern Intensitäten im gelben Licht die Sehschärfe bei Herrn Br. nicht so hoch ansteigt wie im weissen Licht, während bei den übrigen Untersuchten mit normalem Farbensystem, die Sehschärfe im gelben Licht durchweg ebenso hoch ist, als im weissen, ja dieselbe noch theilweise überragt. Die Rothcurve zeigt bei Herrn Br. die Abweichung, dass sie mit der Weiss- und Gelbcurve fast ganz parallel verläuft, während wir bei den übrigen Untersuchten auch bei den starken Lichtintensitäten noch immer ein deutliches Steigen der Curve constatiren konnten. Am auffälligsten aber ist das Verhalten der Grüncurve, welche fast genau in Höhe und Verlaufsrichtung mit der Blaucurve zusammenfällt, also viel niedriger zur Abscisse hin verläuft, als bei den übrigen Untersuchten. Ich glaube, dass sich diese Abweichungen im Verlauf der Curven bei Herrn Br. ungezwungen aus seiner Anomalie des Farbensystems erklären. Das Gelb muss ihm als Grünblinden lichtschwächer

erscheinen, als einem Normalfarbensichtigen, und deshalb wird bei ihm der oben erwähnte Vortheil der monochromatischen Beleuchtung mehr als aufgehoben. Da Roth dem Untersuchten einen analogen Eindruck macht, wie Gelb, nur weniger hell, so verläuft auch seine Rothcurve seiner im gelben Licht ziemlich parallel. Die Grüncurve verläuft so niedrig, weil dem Herrn Br. die Grünempfindung fehlt und das Grün ihm nur den Eindruck eines sehr lichtschwachen, stark mit Weiss gemischten Gelb macht. Die Blaucurve nimmt einen analogen Verlauf wie bei den übrigen Untersuchten, da ja die Blau-Empfindung nicht weiter alterirt ist. Die Zahlenwerthe des Herrn Br. sind folgende:

Herr Br.

Intensität	Sehschärfe für Weiss	Gelb	Roth	Grün	Blau
3600 . . .	1,54	1,24	1,03	0,41	0,34
1175 . . .	1,22	1,03	0,92	0,30	0,31
400 . . .	0,97	0,96	0,89	0,17	0,19
144 . . .	0,76	0,80	0,74	0,11	0,11
36 . . .	0,52	0,61	0,45	0,083	0,061
15 . . .	0,40	0,50	0,40	0,073	0,058
6 . . .	0,34	0,40	0,29	0,066	0,052
1,5 . .	0,24	0,23	0,063	0,052	0,042
0,6 . .	0,15	0,14	0,007	0,041	0,029
0,1 . .	0,083	0,07	—	0,015	—
0,01 . .	0,042	0,02	—	—	—

Auf Tafel III habe ich dann noch die Curve über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungs-Intensität im Weissen von einem total farbenblinden, physikalisch gebildeten Beobachter gegeben. Leider wurde ich durch Erkrankung des betreffenden Herrn verhindert, die Curven im verschieden farbigen Lichte auch aufzunehmen. Die genauere Analyse des Falles in Bezug auf die Farbenanomalie erfolgt ebenfalls demnächst in der schon vorhin erwähnten und in nächster Zeit erscheinenden Arbeit von DDr. König und Dieterici. Herr B. zeigte

ophthalmoscopisch einen mässigen aber deutlichen Grad von Albinismus, eine Hyperopie von 2 D und 1/6 Sehschärfe, welche durch Gläsercorrection nicht weiter gehoben werden konnte (also angeborene Sehschwäche) und ferner, wie schon gesagt, totale Farbenblindheit. Ausserdem war Herr B. ausgesprochener Nyktalop, eine helle volle Tages- und namentlich Sonnenbeleuchtung beeinträchtigte wegen der Blendung seine Sehschärfe. Die gefundenen Zahlenwerthe sind folgende:

Intensität	Sehschärfe im weissen Licht
3600	0,175
1175	0,215
711	0,28
400	0,264
225	0,24
144	0,23
36	0,23
14	0,17
6	1,115
3	0,112
1,5	0,089
1,0	0,083
0,64	0,066
0,32	0,053

(Hierzu Curve von Herrn B., Tafel III.)

Es zeigt sich hier die interessante Thatsache, dass schon bei einer Beleuchtungssteigerung, wo beim normalen Menschen die Sehschärfe noch zunimmt, bei Herrn B. dieselbe schon sinkt, wegen der Ueberblendung, während bei den schwachen Beleuchtungs-Intensitäten seine Sehschärfe unverhältnissmässig gut ist, ja relativ gerechnet entschieden höher als beim normalen Auge.

Das sind in Kürze die Ergebnisse unserer Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungs-Intensität. Man sieht, dass auch wir zu einem bestimmten mathematischen Gesetze, wie es die Innsbrucker Preisaufgabe fordert, in dieser Hinsicht nicht gekommen sind; ja wir müssen sogar die Zulässigkeit

solcher bestimmt formulirten Gesetze, wie sie von verschiedenen Autoren aufgestellt worden sind, direkt zurückweisen, sobald es sich um Variationen der Beleuchtungs-Intensität in weiteren Grenzen handelt. Und doch welch eine Gesetzmässigkeit steckt in den von uns auf Tafel I gegebenen Curven über das Abhängigkeitsverhältniss der Sehschärfe von der Beleuchtung. Wie ein Blick lehrt, sind die Curven von zwei verschiedenen normalen Untersuchten fast absolut identisch, aber wie unendlich verschieden ist der verhältnissmässige Wechsel der Sehschärfe mit einer gleichen Veränderung der Intensität, je nachdem mit schwachen und starken Beleuchtungs-Intensitäten operirt wurde. Einen bestimmten Satz in Worten zu formuliren aus diesen Curven, war trotz vielfacher Bemühungen und Rechnungen auch von Seiten des Herrn Dr. König nicht möglich.

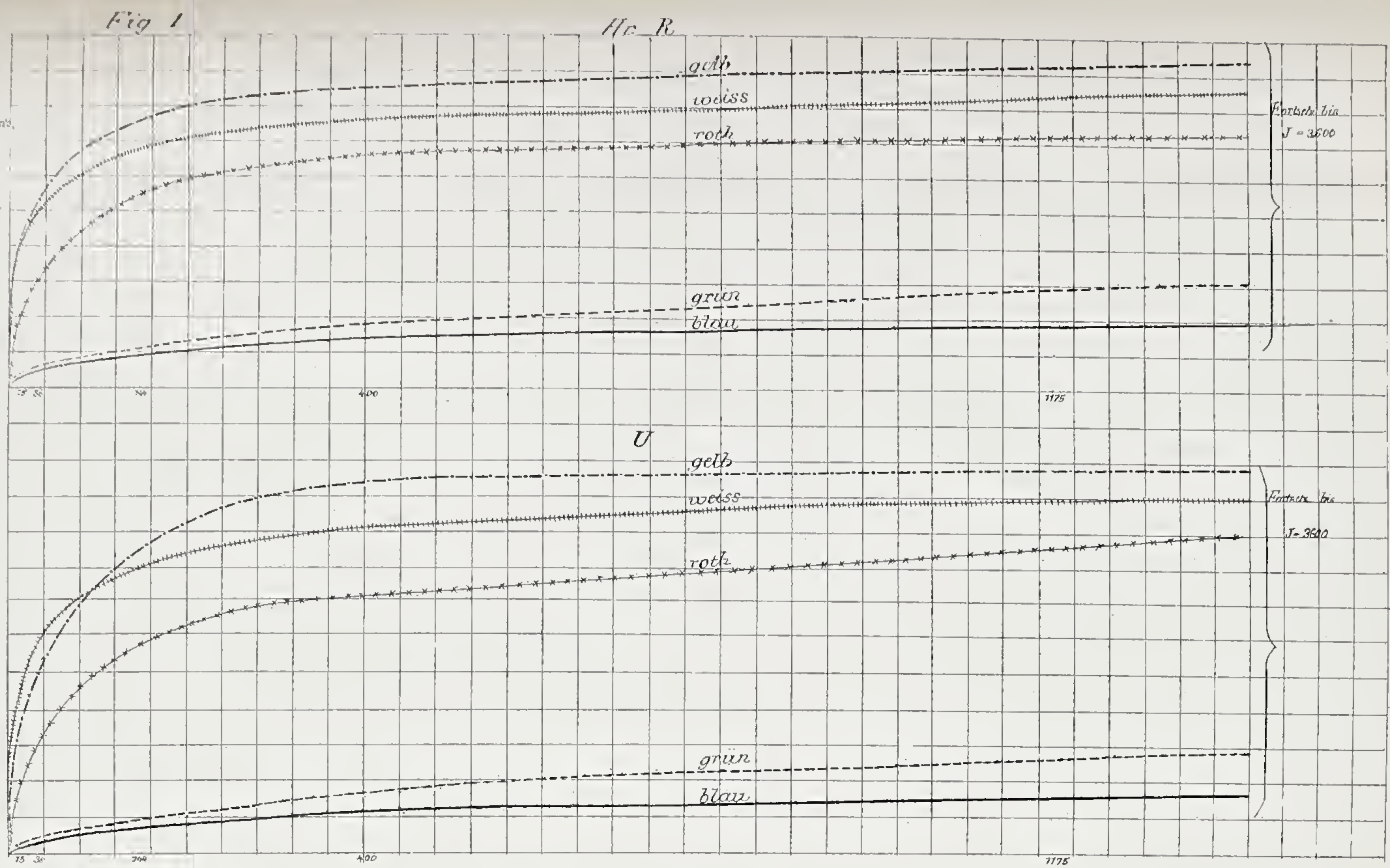
Gegen die Construction unserer Curven, wirklich vom Nullpunkt der Intensität bis zu einer sehr starken Beleuchtungs-Intensität lässt sich vielleicht vom theoretischen Standpunkte aus noch der Einwand erheben und ist auch thatsächlich dagegen erhoben worden, dass bei den schwachen Intensitäten mit geringer Sehschärfe, letztere schliesslich nicht mehr nach denselben optischen Grundsätzen geprüft werde, wie bei den stärkern Intensitäten. Bei den schwachen Beleuchtungen sei man genöthigt, zuletzt so grosse Probeobjecte aus solcher Nähe anzuwenden, dass das Netzhautbild des Objectes zuletzt die Fovea centralis überrage und der Untersuchte das Auge an dem Objecte herumführen müsse, um sich zu orientiren. Es ist das ganz richtig, aber es kam uns auch nur darauf an, die thatsächliche Abhängigkeit der Sehschärfe, wie sie sich eben im gewöhnlichen praktischen Leben geltend macht zu illustriren und von diesem Gesichtspunkte aus haben wir auch geglaubt, die Pupillenweite und den Wechsel in ihrer Grösse bei verschiedener Beleuchtungs-

Intensität ausser Betracht lassen und auf die Anwendung etwaiger stenopäischer Vorrichtungen verzichten zu können. Der Fall übrigens, dass das Retinalbild des Objectes die Fovea centralis überragt, tritt schon verhältnissmässig früh ein, nämlich ungefähr schon von S = 0,1 abwärts, den mittleren Durchmesser der Fovea centralis nach Henle zu 0,3 mm gerechnet.

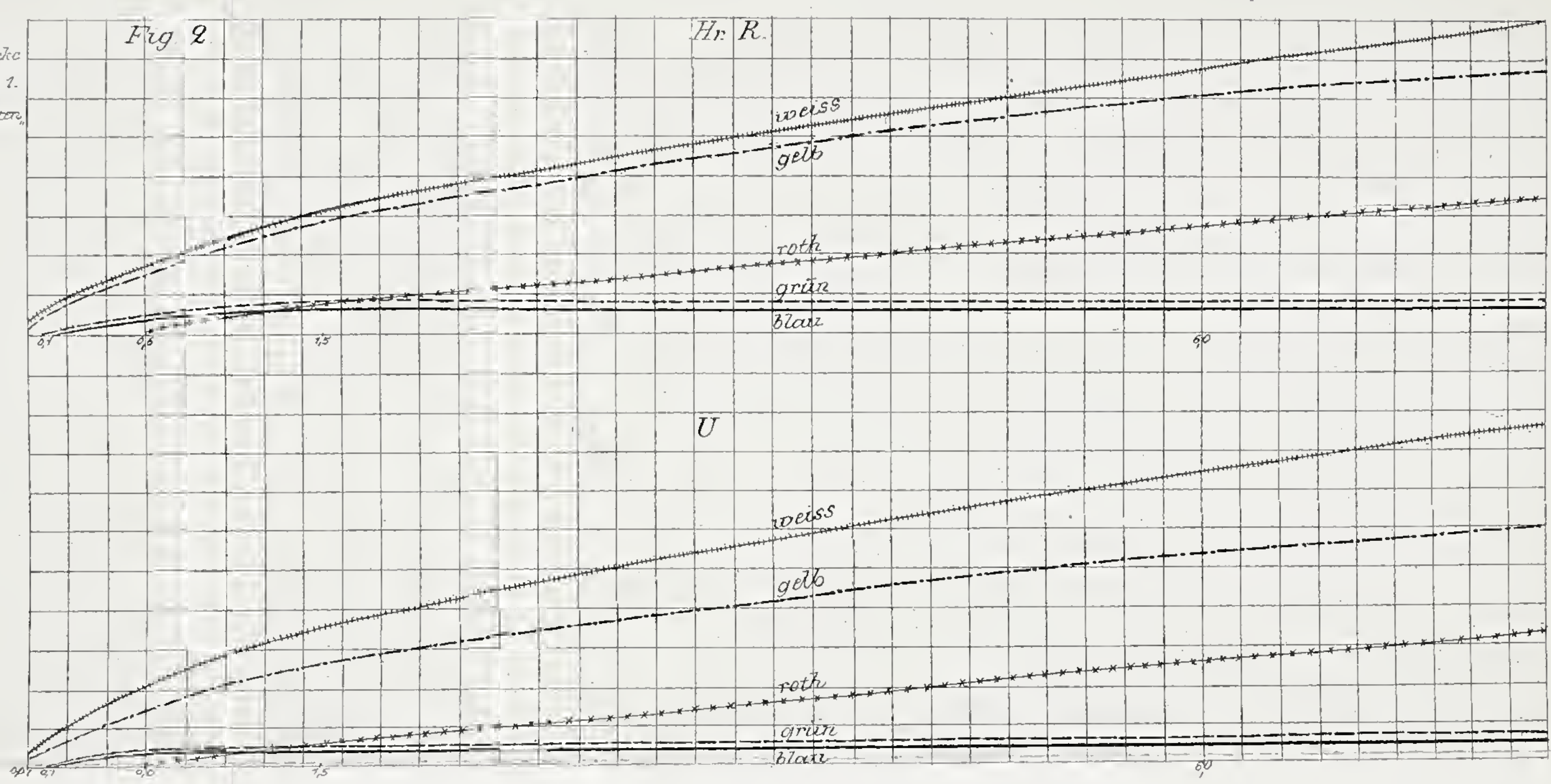
Ein Wort der Rechtfertigung bedarf dann vielleicht zum Schluss unser Vorgehen bei der Prüfung der Sehschärfe im monochromatischen Lichte; wir haben eben schwarze Probezeichen auf grossem farbigen Grunde als gleichbedeutend mit monochromatischer Beleuchtung gerechnet. Sind die angewendeten Zeichen absolut schwarz, so dass sie gar kein Licht reflectiren, und der farbige Grund absolut monochromatisch, so wäre auch vom theoretischen Standpunkte aus gegen unser Vorgehen Nichts zu erinnern. Die von uns angewendeten farbigen Tuche (nach Wolffberg) sind nun in der That, wie die spectroscopische Untersuchung lehrte, als fast rein monochromatisch zu betrachten und die möglichste Schwärze der Probezeichen haben wir durch sorgfältiges Berussen mit einer Terpentinflamme immer zu erreichen gesucht. Immerhin sind ja durch diese Versuchsanordnung gewisse kleine Fehlerquellen gegeben; aber man muss nur nicht vergessen, dass es eben constante und sich bei allen Versuchen gleichbleibende kleine Fehler sind, die nicht geeignet sind, die Reinheit der Versuchsresultate wesentlich zu beeinträchtigen. Nach einer von Herrn Dr. König vorgenommenen ungefähren Schätzung enthält das von uns angewandte Roth alle Wellenlängen über $0{,}\overset{\mu}{6}30$ und das Gelb Wellenlänge $0{,}\overset{\mu}{6}30$—$0{,}\overset{\mu}{5}50$ (aber die Enden des Intervalles sehr schwach). Das Grün hat sein Maximum bei $0{,}\overset{\mu}{5}30$—$0{,}\overset{\mu}{5}20$ und lässt die übrigen Theile des Spectrums ganz ver-

schwindend durch, so dass es praktisch nicht in Betracht kommt. Das Blau enthält die Wellenlänge von $\overset{\mu}{0{,}480}$ bis zum blauen Ende, eine Spur von Grün ist sichtbar.

Ich schliesse meine Arbeit mit dem Gefühl aufrichtiger Dankbarkeit gegen Herrn Geh. Rath v. Helmholtz für sein gütiges Interesse und die Erlaubniss, in seinem Institute die Arbeiten ausführen zu dürfen. Insbesondere aber bin ich Herrn Dr. König zu Dank verpflichtet für seine vielfache Anregung und seine stets bereite freundliche Hülfe. Auch Allen den Herren sage ich meinen Dank, die solche zeitraubenden Untersuchungen liebenswürdiger Weise mit sich haben anstellen lassen.



Die Anfangsstücke d. Curven v. Fig. 1. v. Beleuchtungsintensität 0-15



Curve eines Nyktalopen.

Die Anfangsstücke v. Curve 3 o. J. 0-15

Gesammtcurven eines Grünblinden von Intensität 0-3600.

